

ĐÁNH GIÁ TUỔI THỌ ỐNG COMPOZIT GFRP TRONG MÔI TRƯỜNG XÂM THỰC

Lê Cao Chiến

TT. Vật liệu hữu cơ và Hóa phẩm xây dựng, Viện VLXD
(Tổng hợp từ FRP Composites in Civil Engineering tháng 12/2004)

Nhận bài ngày 26/08/2014, chấp nhận đăng ngày 05/09/2014

Ống Polyme Compozit gia cường sợi thủy tinh (Glass Fiber Reinforced Polymer - GFRP) là loại vật liệu tổ hợp được tạo nên từ vật liệu gia cường là sợi thủy tinh dạng ngắn hoặc dài liên tục trong nền nhựa nhiệt rắn như polyester không no (hoặc vinyl ester). Ống được sản xuất đối xứng thông thường theo hai công nghệ chính là đúc ly tâm đối với sợi ngắn hoặc quấn sợi đối với dạng sợi dài liên tục. Ngoài các lớp cấu trúc, đường ống cũng có các lớp bảo vệ bên trong và bên ngoài, trong đó chủ yếu là vật liệu nhựa hữu cơ.

Ống Compozit GFRP có thể sử dụng làm ống chịu áp trong các hệ thống ống cấp, thoát nước. Trong các ứng dụng này đường ống tiếp xúc với nhiều chất lỏng khác nhau, trong một số trường hợp, có thể có những tác động xâm thực với vật liệu thành ống. Cơ chế tác động của các điều kiện môi trường lên vật liệu ống phụ thuộc vào các đặc tính môi trường. Ví dụ, tác động của môi trường kiềm đến quá trình ăn mòn, bảo mòn sợi thủy tinh của kết cấu ống đã được nghiên cứu bởi Zhang (1999) và Karbhar (2000).

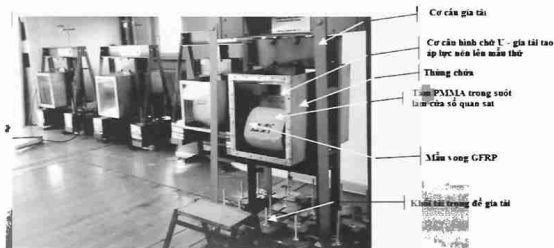
Sự tiếp xúc của đường ống chịu tải với môi trường axit có thể dẫn đến ăn mòn biến dạng (strain corrosion). Vấn đề này đã được nghiên cứu trong báo cáo của Woo (1988). Những nghiên cứu quá trình ăn mòn biến dạng dài hạn trong môi trường axit được thực hiện liên tục dưới điều kiện giữ không đổi độ biến dạng hướng tâm

(diametrical deflection) đối với vòng mẫu ống đã được báo cáo bởi Fried (1967) và Woo (1988). Tác động của nước tới ứng xử của ống cũng đã được xem xét định lượng. Có thể thấy rằng tác dụng của nước dài hạn sẽ làm suy yếu một số loại thành phần nhựa nền và có thể dẫn đến việc khử liên kết (debonding) của hệ sợi-nhựa như nghiên cứu của Fried (1967) và Woo (1988). Nghiên cứu tác động của môi trường nước tới ứng xử của ống GFRP dài hạn đã được nghiên cứu bởi Farshad (2004).

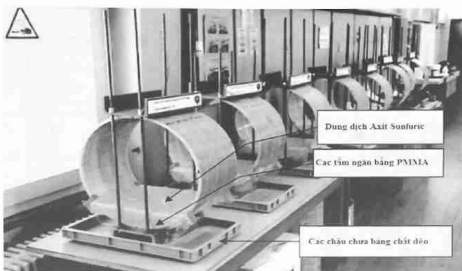
Xác định tác động dài hạn tới ống Compozit gia cường bằng sợi thủy tinh GFRP trong điều kiện ướt và lý thuyết ngoại suy dài hạn là những yêu cầu quan trọng trong thiết kế đường ống. Các dữ liệu thực nghiệm thường thu được trong khoảng thời gian lên tới 2 năm. Những dữ liệu này để cung cấp việc ngoại suy cho khoảng thời gian lâu hơn nữa, có thể lên tới 50 năm, được coi là quá trình đánh giá tuổi thọ đường ống.

Thiết bị thử nghiệm

Để thực hiện các thử nghiệm dài hạn, hai loại thiết bị thử nghiệm đã được phát triển và xây dựng. Một loại được sử dụng để thử nghiệm độ rã trực tiếp (direct creep) của ống GFRP trong điều kiện ướt và cũng có thể thử nghiệm trong môi trường kiềm; Loại khác được sử dụng cho các thử nghiệm hồi phục của ống GFRP dưới ảnh hưởng của môi trường axit.



Hình 1. Thiết bị thử nghiệm dài hạn ống GFRP trong điều kiện bão hòa (môi trường nước hoặc kiềm)



Hình 2. Các thử nghiệm biến dạng áp môn dài hạn của mẫu ống GFRP

Để thử nghiệm các vòng mẫu ống thử trong điều kiện ướt thì mẫu ống thử GFRP phải được nhúng chìm trong nước và phải chịu một áp lực nén hướng tâm. Với thử nghiệm vòng mẫu ống thử trong môi trường kiềm thì mẫu thử cũng phải được nhúng chìm trong dung dịch kiềm có nồng độ cao và chịu một áp lực nén hướng tâm trong quá trình thử nghiệm. Hệ thống thử nghiệm điển hình của cả hai phép thử này là thiết bị gia tải bằng tải trọng, thùng chứa, và một hệ khung đỡ. Hình 1 thể hiện cấu trúc hệ thử nghiệm độ rã của ống GFRP trong điều kiện ướt, cũng như việc thử nghiệm trong môi trường kiềm. Độ biến dạng hướng tâm của các mẫu ống thử nghiệm được theo dõi bằng thiết bị đo bên ngoài.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của môi trường axit tới ứng xử dài hạn của ống GFRP, các thiết bị loại khác có khả năng xác định độ biến dạng hướng tâm liên tục được xây dựng. Các vòng mẫu ống GFRP được tiếp xúc với môi trường acid ở phần dưới của đoạn mẫu thử. Hình 2 miêu tả một số thiết bị thử nghiệm như vậy.

Mẫu thử và phương pháp tiến hành

- Ứng xử rã của ống GFRP trong điều kiện ướt

Phần vòng thử được lấy từ ống sợi thủy tinh dạng ngắn gia cường cho nhựa polyester không no được sản xuất bằng phương pháp đúc ly tâm. Các mẫu sử dụng có đường kính danh nghĩa là 500 mm. Chiều dài của mỗi mẫu khoảng 300 mm. Trước khi thử nghiệm, các mẫu được dưỡng hệ ở nhiệt độ phòng là $22 \pm 3^\circ\text{C}$ và độ ẩm $50 \pm 5\%$. Số lượng mẫu được lựa chọn theo điều kiện thùng chứa được đổ đầy nước tuần hoàn ở $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Mẫu thử được giữ trong thùng chứa ít nhất 1000 giờ. Thiết lập các giá trị tham chiếu từ những thử nghiệm nén hướng tâm ngắn hạn được thực hiện trên một số mẫu trong môi trường khô ở cùng điều kiện thử nghiệm. Thử nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn EN 1227. Đối với thử nghiệm dài hạn, sử dụng các giá trị tham chiếu, cấp

tải trọng khác nhau được lựa chọn. Tải trọng hướng tâm trong dải 6.0 tới 17.1 kN và kết quả thời gian phá hủy mẫu trong khoảng 0.2 tới 6000 giờ.

- Biến dạng áp môn của ống GFRP trong môi trường axit

Mẫu được tạo từ ống nhựa polyester gia cường bằng sợi thủy tinh - GFRP được sản xuất theo phương pháp quấn sợi. Các mẫu sử dụng trong các thử nghiệm biến dạng áp môn bao gồm các phần đường ống có đường kính danh nghĩa 500mm. Độ cứng danh nghĩa của các vòng mẫu thử là 10.000 N/m^2 . Chiều dài của mỗi mẫu khoảng 300mm.

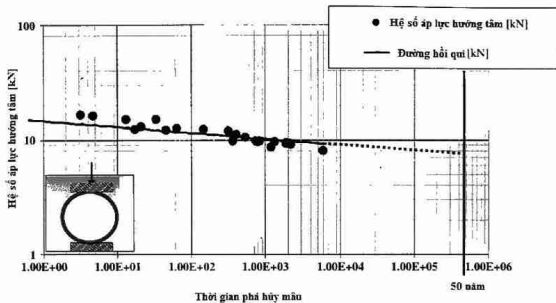
- Ứng xử dài hạn của ống GFRP trong môi trường kiềm

Mẫu ống GFRP sản xuất bằng phương pháp đúc ly tâm đã được thử nghiệm. Các mẫu sử dụng có đường kính danh nghĩa là 500mm. Chiều dài của mỗi mẫu khoảng 300mm. Để thiết lập giá trị cơ sở, thử nghiệm nén hướng tâm ngắn hạn được thực hiện trên ba mẫu thử. Các thử nghiệm được thực hiện trên các ống trong điều kiện khô không có chuẩn bị trước. Trước khi thử nghiệm, các mẫu được dưỡng hệ ở nhiệt độ phòng là $22 \pm 3^\circ\text{C}$ và độ ẩm tương đối $50 \pm 5\%$. Tại thời điểm thử nghiệm, các mẫu được ngâm trực tiếp trong các thùng chứa của thiết bị thử nghiệm, như thử nghiệm mẫu trong điều kiện ướt (Hình 1). Tuy nhiên, các thùng chứa đầy dung dịch kiềm có pH là 12.5

Phân tích thống kê và dữ liệu ngoại suy dài hạn

- Ứng xử dài hạn của ống GFRP trong điều kiện ướt

Hình 3 cho thấy kết quả thử nghiệm rã của vòng mẫu ống thử trong điều kiện ướt. Các điểm dữ liệu cho thấy áp lực hướng tâm tương ứng với biến dạng rã của các đại tại điểm phá hủy là hàm của thời gian. Tung độ của mỗi điểm, tính theo thang loga, thể hiện áp lực hướng tâm và hoành độ xác định thời gian phá hủy mẫu, tính theo thang loga.



Hình 3. Thử nghiệm rã dài hạn của ống GFRP trong điều kiện ướt

Để phân tích các dữ liệu thực nghiệm, thực hiện phân tích hồi quy tuyến tính theo tiêu chuẩn EN 705. Trong phân tích này, một đường hồi quy tuyến tính được điều hòa với các dữ liệu liên quan tới áp lực hướng tâm (F , tính bằng N) và thời gian phá hủy mẫu (t , tính bằng giờ). Theo kết quả phân tích này, mối quan hệ toán học giữa các dữ liệu nêu trên đã được đưa ra như sau.

$$\text{Log}_{10}F = 4.16 - 0.05 \text{Log}_{10}t$$

Hình 3 chỉ ra đồ thị của đường hồi quy này cùng với các điểm dữ liệu thực nghiệm. Đường liền đậm thể hiện trong hình 3 là đường hồi quy đến 6400 giờ. Đường nét đứt thể hiện trong hình 3 là ngoại suy hình học của đường hồi quy đến 50 năm. Theo phép ngoại suy này, cường độ của đường ống chìm ướt tính sau 50 năm khoảng 7550N.

- Biến dạng ăn mòn dài hạn của ống GFRP

Hình 4 đưa ra kết quả thử nghiệm biến dạng ăn mòn của vòng mẫu ống thử GFRP, được trình bày thành biểu đồ tỷ lệ xích loga. Trục tung của đồ thị là biến dạng hướng tâm tương đối (%) và trục hoành thể hiện thời gian phá hủy mẫu (theo giờ). Biến dạng hướng tâm tương đối (%) được tính bằng biến dạng hướng tâm nhân với 100 và chia cho đường kính trung bình của ống.

Để phân tích các dữ liệu thực nghiệm, một phân tích hồi quy tuyến tính được thực hiện bởi Woytowich (1991). Hình 4 thể hiện đường hồi quy và các điểm dữ liệu thực nghiệm thu được. Từ phân tích này, mối quan hệ toán học giữa độ biến dạng đứng (y theo mm), đường kính danh nghĩa của ống ($D = 500\text{mm}$) và thời gian phá hủy mẫu (t theo giờ) đã được đưa ra như sau.

$$\text{Log}_{10}(y/D) = 1.37 - 0.20 \text{Log}_{10}t$$

Đường liền đậm trong hình 4 thể hiện đường hồi quy từ các dữ liệu thực nghiệm lên đến 4600 giờ. Đường chấm đứt là ngoại suy hình học của đường hồi quy lên đến 50 năm. Sử dụng biến dạng hướng tâm cực đại, biến dạng phá hủy đã được tính toán. Đối với mục đích này, lý thuyết về tác động đàn hồi của vòng mẫu thử lên cặp lực hướng tâm (F tính bằng N) được sử dụng. Theo lý thuyết này, biến dạng hướng tâm cực đại và mômen uốn cực đại (M tính bằng N.mm) của vòng mẫu thử sẽ liên quan tới F theo công thức sau:

$$y = 0.15 FxR^2/ExI \\ M = 0.32 FxR$$

Trong đó E là mô đun đàn hồi (MPa), I là mômen thứ hai của tiết diện mặt cắt thành ống (mm^4), và R là bán kính trung bình của vòng mẫu thử (mm).

Sử dụng mối quan hệ trên và lý thuyết đàn hồi cổ điển cho dầm, biến dạng tối đa (ϵ) sẽ có mối liên quan đến các thông số khác như sau:

$$\epsilon = 4.28 (h/D)x(y/D)$$

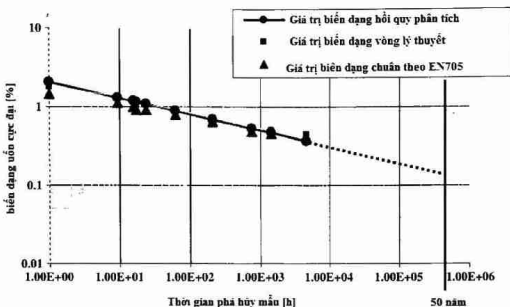
Đối với đoạn ống được nghiên cứu, mối quan hệ trên trở thành:

$$\epsilon = 0.09 (y/D)$$

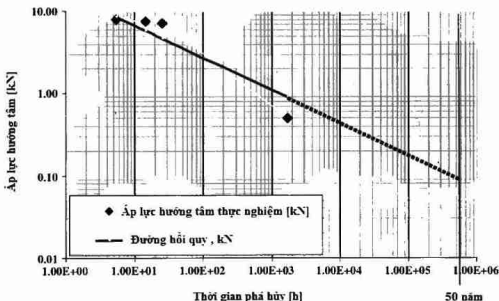
Cuối cùng, bằng cách sử dụng tương quan thống kê, mối quan hệ được thể hiện như sau:

$$\text{Log}_{10}(\epsilon) = 0.33 - 0.22 \text{Log}_{10}t$$

Hình 4 chỉ ra biến dạng uốn cực đại theo hàm thời gian phá hủy mẫu theo mối quan hệ trên và cũng bởi một công thức được biến đổi do Woytowich (1991) đề xuất. Hình 4 cũng cho thấy đường hồi quy tuyến tính ngoại suy đến 50 năm.



Hình 4. Ứng xử biến dạng ăn mòn dài hạn của ống GFRP trong môi trường axit, và dữ liệu phân tích hồi quy tuyến tính



Hình 5. Dữ liệu thử nghiệm ống GFRP trong môi trường kiềm pH = 12.5

- Khả năng kháng kiềm dài hạn của ống GFRP

Hình 5 cho thấy các dữ liệu thực nghiệm cho các mẫu ống GFRP theo phương pháp đúc ly tâm, thử nghiệm trong môi trường kiềm PH 12.5. Nó cũng mô tả đường hồi quy tuyến tính của các điểm dữ liệu thực nghiệm.

Tóm tắt kết quả

- Ứng xử dài hạn trong nước

Kết quả thử nghiệm được trình bày một cách rõ ràng trong hình 3 chỉ ra xu hướng giảm cường độ ống theo thời gian. Cường độ ngoại suy dài hạn của đường hồi quy cho thấy sau 50 năm ngâm chìm là 7,5kN. Do đó, nó đã cho thấy rằng cường độ ống sau 50 năm ngâm nước giảm xuống trên 50% cường độ khô ngắn hạn.

Các điểm dữ liệu liên quan đến độ biến dạng rão tại điểm phá hủy cho thấy một xu hướng thay đổi ít nhiều. Các giá trị trung bình của độ biến dạng hướng tâm tại điểm phá hủy lên tới khoảng 20% đường kính danh nghĩa ống. Xu hướng ổn định tương đối theo thời gian của biến dạng cho thấy biến dạng rão của ống trong điều kiện ướt không thay đổi quá nhiều. Do đó, người ta có thể kết luận được rằng sự tiếp xúc liên tục của ống Composit với nước chủ yếu sẽ ảnh hưởng đến cường độ cực đại mà không ảnh hưởng đến biến dạng cực đại. Cường độ giảm có thể là do sự khuếch tán kết composit gây ra bởi sự khuếch tán của nước vào các lớp và bề mặt tiếp xúc giữa sợi và nhựa

- Biến dạng ăn mòn

Kết quả nghiên cứu biến dạng ăn mòn cho thấy một xu hướng giảm hồi quy của biến dạng cực đại theo thời gian phá hủy mẫu. Theo phép ngoại suy thống kê cho thấy trong hình 4, một ống tiếp xúc liên tục với axit sulfuric, độ biến dạng hướng tâm tới hạn sau 50 năm là khoảng 1,7%. Mặt khác, các thử nghiệm tĩnh ngắn hạn thực hiện trên phần vòng mẫu thử trong điều kiện khô của đường ống này có độ biến dạng hướng tâm tại điểm phá hủy là 23,4%. Do đó, theo các kết quả này, khả năng chịu biến dạng giảm khoảng 90% so với độ biến dạng ngắn hạn của ống trong điều kiện khô.

Các tính toán biến dạng uốn, bằng cách sử dụng dữ liệu thực nghiệm và lý thuyết đàn hồi của vòng mẫu thử, cho thấy biến dạng cực đại ngắn hạn khoảng 2,1%. Dưới sự ảnh hưởng của biến dạng hướng tâm không đổi và axit sulfuric, biến dạng cực đại giảm xuống còn khoảng 0,5% sau 1000 giờ. Hơn nữa, giá trị ngoại suy dài hạn cho thấy sau 50 năm tiếp xúc liên tục với axit sunfuric và chịu tải hướng tâm, biến dạng phá hủy của vòng mẫu thử có thể làm giảm khoảng 0,16%.

- Khả năng kháng kiềm

Các đường xu hướng trong hình 5 chỉ ra một cách tương đối sắc nét sự giảm khả năng chịu tải của đường ống nhúng chìm trong môi trường kiềm. Giá trị ngoại suy

sau 50 năm tuổi thọ của đường ống cho thấy sự giảm mạnh cường độ chịu tải của ống. Theo dữ liệu ngoại suy này, độ bền đường ống trong môi trường kiềm nhỏ hơn 1% cường độ ban đầu của nó! Sự giảm mạnh cường độ của ống có thể là do sự ăn mòn của các sợi thủy tinh ngắn và sự tương tác của nền polyme với môi trường kiềm.

Thiết kế ống và dự đoán tuổi thọ đường ống

Từ các thử nghiệm dài hạn trên các vòng mẫu thử ống GFRP trong các môi trường khác nhau như nước, axit, môi trường kiềm và các dữ liệu ngoại suy dài hạn có thể có những kết luận chung như sau. Có thể thấy rằng khả năng chịu biến dạng của ống GFRP nói chung sẽ giảm và sẽ giảm nhiều dưới biến dạng cực đại ngắn hạn trong điều kiện khô. Sự suy giảm biến dạng của vật liệu có liên quan tới độ mềm dẻo tương đối thấp là một cảnh báo nên được xem xét trong thiết kế cũng như trong việc dự đoán tuổi thọ của các loại đường ống này. Theo những kết quả này, triết lý chung trong việc thiết kế đường ống GFRP dựa trên cơ sở độ bền ống cần được đánh giá lại. Người ta cho rằng, trong các biện pháp kỹ thuật đối với thiết kế và đánh giá tuổi thọ đường ống, thì các tiêu chí độ biến dạng và biến dạng tới hạn cũng nên được xem xét bình đẳng. Theo đó, các hệ số an toàn được lựa chọn phù hợp để chịu được cường độ dài hạn cũng như những giới hạn trong biến dạng của ống./.